

Pembuatan *Foam Glass* Menggunakan Limbah Pecahan Kaca Dan Abu Terbang (*Fly Ash*) Dari Pabrik Sawit

Ambtenarie Jessica Sihombing¹⁾, Ahmad Fadli²⁾, Bahrudin²⁾

¹⁾Mahasiswa Jurusan Teknik Kimia, ²⁾Dosen Jurusan Teknik Kimia
Laboratorium Material dan Korosi, Fakultas Teknik, Universitas Riau
Kampus Binawidya JL. HR. Subrantas Km. 12,5 Pekanbaru 28293

¹Email: ambtenariejessica@gmail.com

ABSTRACT

Foam glass can be produced using cullet and fly ash with addition of dolomite as foaming agent. The aim of this research is to study the influence of adding composition of glass powder and dolomite on the characteristics of the foam glasses and to determine the best composition of the obtained foam glass. Firstly, cullets were milled using crusher. The fly ash were calcined at 600°C for 4 hours. Subsequently fly ash, glass powder and dolomite were sieved using 100 mesh sieve. Furthermore, 50 %wt of fly ash, (60, 55, 50, 45, 40, 35) %wt of glass powder and 8 %wt of dolomite were mixed in 32 %wt NaOH solution until formed a slurry. The slurry was stirred for 30 minutes. Slurry was dried in oven at 105°C for 12 hours until formed the dried green bodies. Green bodies were sintered at 900°C for 30 minutes. The results show that the glass powder addition of 35-45 %wt obtained an increase in the bulk density and compressive strength of the foam glass. The best microstructures of pores can be obtained by adding 45 %wt glass powder and 8 %wt dolomite with bulk density and compressive strength values of 1.041 gr/cm³; 2.877 MPa.

Keywords : *compressive strength, dolomite, foam glass, glass powder, palm oil fly ash*

1. Pendahuluan

Foam glass (atau disebut juga dengan *cellular glass*) merupakan *glass* yang memiliki porositas yang tinggi dengan adanya penambahan gas atau zat penghasil gas untuk pembentuk pori (*foaming agent*). Pembuatan *foam glass* dihasilkan dengan menggunakan bahan baku *glass* (*window glass*), *fly ash* dan *dolomite* sebagai *foaming agent*. Saat ini, pembuatan *foam glass* merupakan salah satu solusi yang digunakan untuk menjawab permasalahan krisis disposal dan polusi lingkungan serta membantu dalam perkembangan teknologi energi terbarukan.

Glass merupakan limbah yang tidak dapat terurai oleh mikroorganisme (*non-biodegradable*). *Glass* merupakan bahan baku utama dalam pembuatan *foam glass*. Komponen yang mendominasi yang terdapat pada *glass* adalah 65-73 % SiO₂,

14-18% Na₂O, 6-10% CaO [Bhatty dkk, 2010].

Salah satu limbah padat yang dihasilkan dari pabrik sawit adalah abu terbang (*fly ash*). Komponen yang biasanya masih terdapat dalam *fly ash* adalah material yang tidak terbakar dengan sempurna yang ditandai dengan adanya LOI yaitu 10,49 % [Olivia dkk, 2015]. *Fly ash* diharapkan bahan baku penunjang untuk menghasilkan densitas yang relatif rendah. Adanya komponen material yang tidak terbakar sempurna pada *fly ash* saat teroksidasi akan melepas gas yang membantu peningkatan *foaming* pada *glass melt* [Fernandes dkk, 2009].

Secara umum, jenis dari *foaming agent* terdiri dari redoks dan *neutralization*. Salah satu contoh dari jenis *foaming agent neutralization* adalah karbonat (*dolomite*). *Foaming agent* jenis ini menghasilkan gas CO₂ pada saat proses dekomposisi termal. Komponen yang

mendominasi terdapat di dalam *dolomite* adalah 30,2% CaO dan 21,9% MgO [Csoke dkk, 2013].

Secara komersial, *foam glass* yang diaplikasikan sebagai insulasi panas dan suara yang memiliki nilai porositas, *bulk density*, dan *compressive strength* secara berturut-turut yaitu 85-95 %v, 0,1-0,3 gr/cm³ dan 0,4-6 MPa [Fernandes dkk, 2009]. Material ini menunjukkan ciri-ciri yang unik dengan memiliki luas permukaan yang tinggi, densitas yang rendah, *specific heat* yang rendah, *high thermal*, tahan terhadap air dan tidak terbakar.

Pembuatan *foam glass* menggunakan metode *powder*. Metode ini pada dasarnya merupakan campuran *glass powder* dan dengan adanya penambahan *foaming agent* untuk menghasilkan gas pada pemanasan tertentu dalam mekanisme proses *sintering* (Alim, 2009). Pertumbuhan gelembung yang dihasilkan pada proses *foaming* dipengaruhi oleh komposisi *raw material* dan suhu *sintering* [Fernandes dkk, 2009]. Oleh karena itu, tujuan penelitian ini agar mempelajari pengaruh penambahan *glass powder* dan *dolomite* terhadap pembuatan *foam glass* yang juga menggunakan *fly ash* dari pabrik sawit sebagai bahan baku tambahan dan menghasilkan komposisi terbaik dalam pembuatan *foam glass* yang dihasilkan.

2. Metode penelitian

2.1 Bahan

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah *glass* (yaitu: *window glass*) yang telah dihaluskan dengan menggunakan *crusher*, *fly ash* (PTPN V, Sei. Galuh) yang telah dikalsinasi pada suhu 600°C selama 4 jam sebagai bahan baku tambahan dalam meningkatkan proses *foaming*, *dolomite* (Gresik, Indonesia) sebagai *foaming agent*, larutan NaOH konsentrasi 0,025 N (MACRON, USA) sebagai pelarut dalam pembuatan *foam glass*. Ukuran *powder* yang digunakan pada bahan baku (yaitu: *glass*

powder, *fly ash*, *dolomite*) adalah 100 mesh.

2.2 Prosedur Penelitian

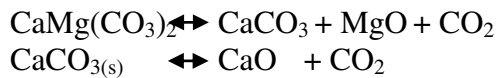
Variabel berubah pada penelitian ini adalah komposisi *glass powder* yaitu 60, 55, 50, 45, 40, 35 %wt. Setelah didapatkan komposisi terbaik dari variasi *glass powder* kemudian divariasikan terhadap *dolomite* yaitu 0, 4, 8, 12, 16, 20 %wt. Tahapan awal pada penelitian ini adalah pembuatan *slurry*. *Slurry* dihasilkan dengan mencampurkan *glass powder* (G) 50 %wt, *fly ash* (A) 50 %wt. Kemudian campuran A dan G diambil 60 %wt, ditambahkan 32 %wt larutan NaOH dan 8 %wt *dolomite*. *Slurry* diaduk dengan kecepatan 300 rpm selama 30 menit menggunakan *stirer* (Heidolph, Germany). Kemudian *slurry* dicetak dengan kedalaman *stainless steel mould* dan dioven (Gallenkamp, China) selama 12 jam dengan suhu pengeringan 105°C. Ketika proses ini berakhir maka dihasilkan *green bodies* dan dilanjutkan dengan proses *sintering* dengan menggunakan *furnace* (Nabertherm, Jerman) selama 30 menit pada suhu 900°C. Hasil dari proses *sintering* membentuk yaitu *sintered body*. *Sintered body* dikarakterisasi dengan analisa *physical properties* (*shrinkage*, densitas, porositas, *compressive strength*), analisa SEM pada permukaan *foam glass* dan analisis XRD yang berfungsi untuk mengetahui fase kristalin yang terbentuk.

3. Hasil dan pembahasan

3.1 Porous Body Properties

Gambar 1 (a) memperlihatkan *green bodies* yang dihasilkan pada proses pengeringan berwarna *dark brownish* dan Gambar 1 (b) memperlihatkan *sintered bodies* yang terbentuk berwarna *yellow brownish*. Hasil penelitian yang sama juga dihasilkan oleh Fernandes dkk [2009] pada pembuatan *foam glass* dengan rasio massa 50 %wt *fly ash* dan 50 %wt *sheet glass* menghasilkan perubahan warna *yellow brownish*. Hal ini disebabkan karena pemanasan *dolomite* pada suhu 800°C

(reaksi 1) dan 890°C (reaksi 2) terjadi reaksi dekomposisi *thermal* yang ditunjukkan pada reaksi dibawah ini [Fernandes dkk, 2009].



Gambar 1. (a) *green bodies* yang dihasilkan sebelum proses *sintering* (b) *sintered bodies* yang dihasilkan setelah proses *sintering*

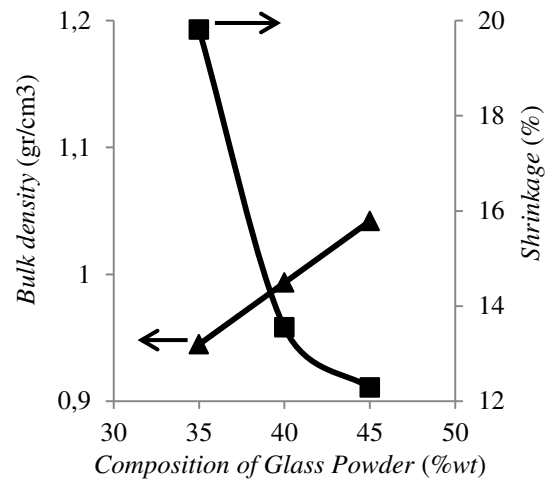
Oleh karena itu, reaksi dekomposisi *thermal* pada *dolomite* mampu mengkarakteristik warna pada *foam glass* sehingga terjadi perubahan warna pada *foam glass*.

3.2 Variasi Komposisi *Glass Powder* Analisa *Shrinkage* dan *Density*

Gambar 2 menunjukkan pengaruh penambahan 35-45 %wt menghasilkan *shrikage* yang menurun yaitu 19,81-12,28%. Terjadinya peningkatan atau penurunan dipengaruhi oleh ekspansi gas pada saat proses *foaming* [Bayrak dkk, 2013]. Penurunan nilai *shrinkage* dikarenakan tidak terjadinya proses ekspansi gas sehingga tidak menyebabkan peningkatan volume secara drastis.

Gambar 2 menunjukkan penambahan *glass powder* 35-45 %wt mengalami peningkatan *bulk density* yaitu 0,944-1,401 gr/cm³. Terjadinya peningkatan dipengaruhi oleh nilai viskositas *glass melt* yang dihasilkan [Fernades dkk, 2014]. Viskositas *glass melt* yang terlalu rendah menyebabkan ekspansi gas tidak terjadi dengan baik. Fenomena ini disebut dengan “*collapse*”

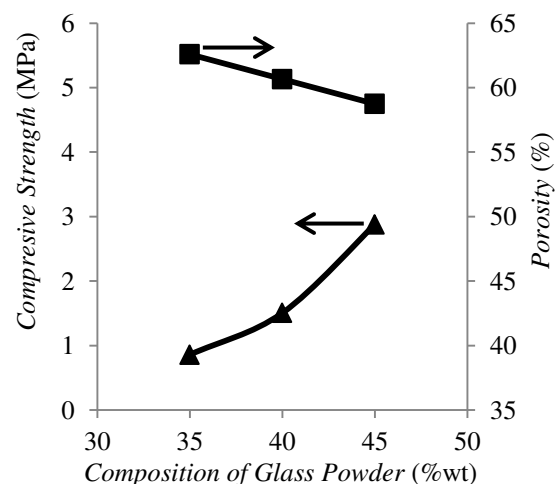
pada struktur *foam* dibawah pengaruh gravitasi, sehingga menghalangi *bulk density* yang dihasilkan besar. Viskositas *glass melt* yang diinginkan untuk terjadinya ekspansi gas adalah 10^{3,5} Poise [Agathopoulus dkk, 2006].



Gambar 2. Hasil perbandingan antara *bulk density* dan *shrinkage* terhadap penambahan komposisi *glass powder*

Analisa *Porosity* dan *Compressive Strength*

Gambar 3 menunjukkan hasil perbandingan antara porositas dan *compressive strength* terhadap penambahan komposisi *glass powder*.



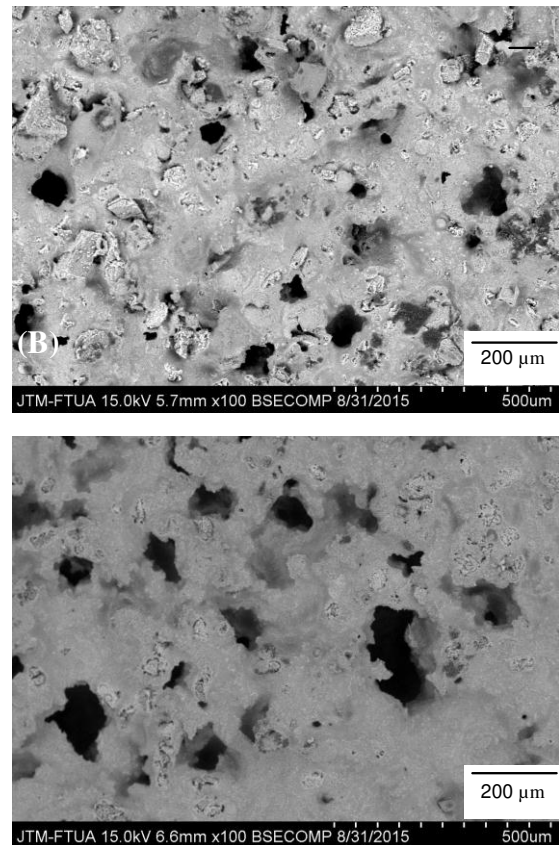
Gambar 3. Hasil perbandingan antara *compressive strength* dan *porosity* terhadap penambahan komposisi *glass powder*

Penambahan *glass powder* 35-45 %wt menghasilkan penurunan nilai porositas yaitu 62,58-58,73%. Hal ini dikarenakan ekspansi gas yang terjadi pada saat proses *foaming* mempengaruhi ukuran pori yang dihasilkan dan tingkat *dense* material. Gambar 5 memperlihatkan analisa SEM pada permukaan pori pada *foam glass*. Huang dkk [2014] menyatakan bahwa *bulk density* yang meningkat menyebabkan penurunan *porosity* karena dipengaruhi mikrostruktur yang semakin *dense*.

Gambar 3 menunjukkan hasil penelitian yang sama dengan Bayrak dkk (2013) yang menyatakan hubungan nilai *compressive strength* berbanding terbalik dengan *porosity* karena mikrostruktur yang *dense* akan jauh lebih tahan terhadap beban dengan massa tertentu dibandingkan yang kurang *dense*. Untuk itu, komposisi terbaik yang diperoleh pada penelitian ini adalah penambahan *glass powder* 45 %wt karena menghasilkan *compressive strength* yang memenuhi minimum nilai *compressive strength* pada industri insulasi *foam glass* Kelly, dalam Solas edisi 4 (2014).

Analisa SEM

Analisa SEM dilakukan pada permukaan pori *foam glass*. Gambar 4 (a) dan (b) menunjukkan permukaan pori yang terbentuk pada *foam glass* dengan penambahan *glass powder* 45 %wt dan 60 %wt. Ukuran rata-rata pori yang dihitung adalah 75 μm pada penambahan *glass powder* 60 %wt, sedangkan pada penambahan *glass powder* 45 %wt memiliki ukuran pori 68 μm . Ukuran pori yang dihasilkan menentukan nilai porositas yang dihasilkan dan mempengaruhi nilai *compressive strength* yang dihasilkan [Llaudis dkk, 2009].



Gambar 4. Hasil analisa SEM pada *foam glass* yang dihasilkan dengan komposisi *glass powder* pada penambahan: (a) 45 %wt dengan perbesaran 100x (b) 60 %wt dengan perbesaran 100x

3.3 Variasi Komposisi Dolomite

Analisa Shrinkage dan Density

Gambar 5 (a) menunjukkan tampilan *green bodies* yang belum mengalami proses *sintering* pada penambahan *dolomite* 0, 4, 8, 12, 16, 20 %wt yang disimbolkan dengan kode sampel A, B, C, D, E, F dan Gambar (b) menunjukkan *sintered bodies* yang telah mengalami proses *sintering*.



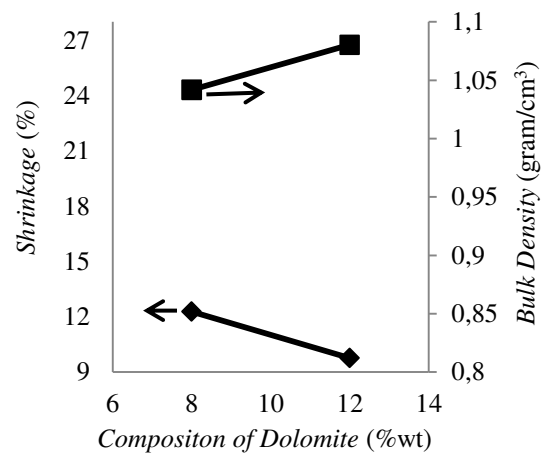
Gambar 5. (a) *green bodies* yang dihasilkan sebelum proses *sintering* (b) *sintered bodies* yang dihasilkan setelah proses *sintering*

Gambar 5 (b) menunjukkan pada penambahan *dolomite* 0 %wt (kode sampel A) dan 4 %wt (kode sampel B) menunjukkan terjadi *deformation*. Hal ini dikarenakan pada penambahan *dolomite* 0 %wt dan 4 %wt menyebabkan perkembangan gelembung pada *glass melt* [Qiang dkk, 2001]. Berbeda dengan adanya penambahan *dolomite* 8, 12, 16 dan 20 %wt menghasilkan *foam glass* dalam bentuk silinder dan tidak terjadi *deformation*.

Gambar 6 menunjukkan peningkatan nilai *shrinkage* pada penambahan 8 dan 12 %wt yaitu 12,28-7,06%. Terjadinya peningkatan *shrinkage* dipengaruhi oleh ekspansi gas pada gelembung *glass melt* [Alim, 2009].

Gambar 6 menunjukkan penambahan *dolomite* 8 dan 12 %wt mengalami peningkatan *bulk density* yaitu 1,041-1,080 %wt. Terjadinya peningkatan *bulk density* dipengaruhi oleh penambahan *dolomite* sehingga mempengaruhi kemampuan *foaming*. Esensialnya proses *foaming* terjadi pada viskositas *glass melt* yang rendah yaitu $10^{3,5}$ Poise [Agathopoulos dkk, 2006]. Penambahan komposisi *dolomite* yang berlebihan akan menyebabkan penurunan kemampuan *foaming* karena terjadinya peningkatan viskositasnya sehingga kesulitan terekspansinya gas secara keseluruhan [Fernandes dkk, 2009]. Selain itu,

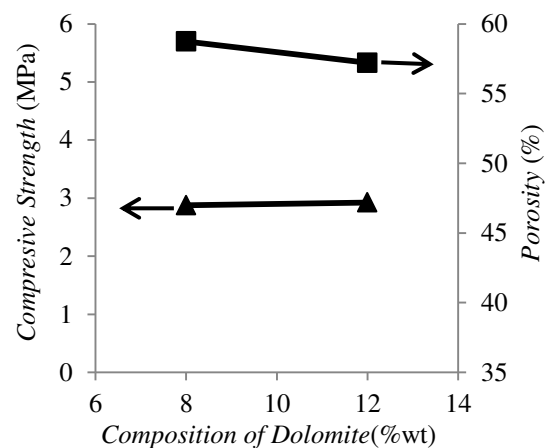
peningkatan atau penurunan nilai *bulk density* juga dipengaruhi dari hasil analisa XRDnya yang dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 6. Hasil perbandingan antara *bulk density* dan *shrinkage* terhadap penambahan komposisi *dolomite*

Analisa Porosity dan Compressive Strength

Gambar 7 menunjukkan peningkatan penambahan *dolomite* 8 dan 12 %wt menghasilkan penurunan nilai porositas yaitu 58,73-57,21%. Peningkatan atau penurunan nilai porositas dipengaruhi oleh nilai *bulk density* yang dihasilkan [Huang dkk, 2014].



Gambar 7. Hasil perbandingan antara *compressive strength* dan *porosity* terhadap perubahan komposisi *dolomite*

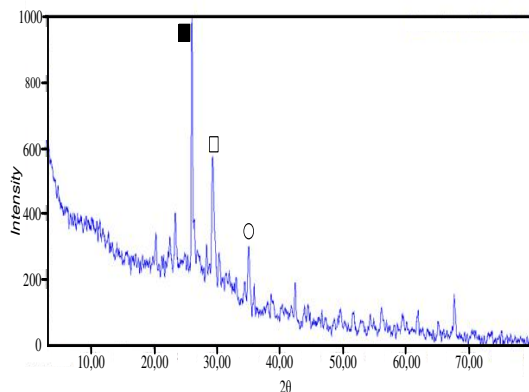
Gambar 7 menunjukkan *foam glass* dengan penambahan *dolomite* 8 %wt dan

penambahan *dolomite* 12 %wt menghasilkan *compressive strength* yang semakin meningkat yaitu 2,877 MPa dan 2,924 MPa. Gambar 7 menunjukkan hasil yang sama dengan penelitian [Bayrak dkk, 2013], yang mana *compressive strength* berbanding terbalik dengan porositas.

3.4 Analisa XRD

Analisa XRD merupakan fase kristalin yang terbentuk selama pemanasan [Fernandes dkk, 2014]. Gambar 8 menunjukkan fase kristalin yang terbentuk pada foam glass dengan penambahan *dolomite* 8 %wt.

Fase kristalin yang dihasilkan yaitu *quartz* (ICDD cards 82-1566), *diopside* (ICDD cards 41-1370) dan *augite* (ICDD cards 0041-1483) [Fernandes dkk, 2009]. Gambar 8 menunjukkan intensitas puncak *quartz* paling tinggi, fase kristalin mempengaruhi *compressive strength* yang dihasilkan [Fernandes dkk, 2009].



Gambar 8. Hasil analisa XRD foam glass dengan penambahan *dolomite* 8 %wt (■ = *quartz*, □ = *diopside* dan ○ = *augite*)

Fase *diopside* merupakan fase kristalin yang dihasilkan pada pemanasan 850-920°C dengan rumus molekul $\text{Ca}(\text{Mg})\text{SiO}_2$ [Agathopoulos dkk, 2006]. Fase kristalin *quartz* dan fase kristalin *augite* memiliki rumus molekul secara berturut-turut yaitu: SiO_2 dan $\text{Ca}(\text{Mg}, \text{Fe}, \text{Al})(\text{Si}, \text{Al})_2\text{O}_6$ [Fernandes dkk, 2009].

4. Kesimpulan

Foam glass dapat dihasilkan menggunakan limbah pecahan kaca dan abu terbang (*fly ash*) dari pabrik sawit dengan penambahan *dolomite* sebagai *foaming agent*. Komposisi terbaik yang dihasilkan pada penelitian ini adalah penambahan *glass powder* 45 %wt, *fly ash* 50 %wt dan *dolomite* 8 %wt dengan memiliki *shrinkage*, *bulk density*, *porosity*, *compressive strength* secara berturut-turut yaitu 12,28%, 1,041 gr/cm³, 58,73%, 2,877 MPa.

Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Kementerian Riset dan Teknologi yang telah membiayai penelitian ini melalui hibah PKM-P pada Tahun Anggaran 2013.

Daftar pustaka

- Agathopoulos, S., Fernandes, H. R., Ferreira, J. M. F. & Tulyaganov, D. U. (2006). Preparation and Characterization of High Compressive Strength Foams From Sheet Glass. *Jurnal Porous Material*, 13, 133-135.
- Alim, A. M. D. 2009. Production and Characterization of Foam Glass From Container Glass Waste. Thesis, Mechanical Engineering, The American University in Cairo, Cairo.
- Bayrak, G., Ercenk, E., Gunay, V. & Yilmaz, S. (2013). Glass Foams Containing Fly Ash Sheet Glass By Adding Calcite As Foaming Agent. *Proceedings Department of Metallurgical and Materials Engineering*, Turkey.
- Bhatty, M. B., Saadet, M. & Saeed, M. T. (2010). Development of Foam Glass As A New Insulating Building Material. *Glass Ceramic*, 38, 15-14.
- Csoke, B., Hoftmann, L., Kertesz, M. & Mucsi G. (2013). Physical Characteristics and Technology of Glass Foam from Waste Cathode Ray Tube Glass. *Material Sains*, 2, 3-4.

- Fernandes, R. H., Tulyaganov, U. D, & Ferreira, F. M. J. (2009). Production and Characterisation of Glass Ceramic Foams From Recycled Raw materials. *Ceramics*, 108, 9-13.
- Fernandes, R. H., Ferreira, F. M. J. & Tulyaganov, U. D. (2009). Preparation and Characterization of Foams From Sheet Glass and Fly Ash Using Carbonates As Foaming Agent. *Ceramics Internasional*, 35, 229-234.
- Huang, H., Zhang, Y., Guo, Y., Meng, K., Hu, K., Hu, P., Wang, X., Zhang, Z. & Meng, X. (2014). Novel Glass Ceramic Foams Material Based On Red Mud. *Ceramics Internasional*, 40, 6677-6683.
- Kelly, M. (2014). Trade of Industrial Insulation Materials. *Solas*, Module 4.
- Llaudis, S. A., Tari, J. M., Ten, G. J. F., Bernardo, E. & Colombo, P. (2009). Foaming of Flat Glass Cullet Using Si_3N_4 and MnO_2 Powders. *Ceramics Internasional*, 35, 1953-1959.
- Olivia, M., Kamaldi, A., Sitompul, R., I., Diyanto, I. & Saputra, E. (2015). Properties of Geopolimer from Locak Fly Ash (FA) and Palm Oil Fuel Ash (POFA). *Materials Science Forum*, 803, 110-114.
- Qiang, N., Chu, S., J., Wu, K., & Wang, Y. (2001). Foaming Behaviour in Molten Slag Caused by Decomposition of Carbonate Minerals. *The Chinese Jornal of Process Engineering*, 1, 262-268.